

开放式点焊机器人控制系统设计*

刘 蕾, 胡国栋, 柳 贺, 万 君
(奇瑞汽车股份有限公司, 安徽 芜湖 241009)

摘要:为解决封闭式控制系统带来的弊端,结合现场焊接机器人技术要求,设计了开放式点焊机器人控制系统,提供了分层式体系与结构化功能模块。多轴运动控制器(PMAC)用于实现机器人运动学算法,伺服放大器采取速度模式控制方式,位置环算法由 PMAC 完成,速度环算法在伺服放大器中完成,并实现了离线编程与三维仿真。研究表明:分层式系统结构大大提高了软、硬件设计的独立性与灵活性,所采用的控制模式增强了速度环刚性与抗干扰能力,这种设计方案满足了现场应用中高速度、高精度的要求。

关键词:点焊机器人;控制系统;多轴运动控制器;VC

中图分类号:TP242.2;TG4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)03-0343-03

Design of an open spot welding robot control system

LIU Lei, HU Guo-dong, LIU He, WAN Jun
(Chery Automobile Co., Ltd., Wuhu 241009, China)

Abstract: To resolve the abuse brought by close control system, and to consider the technical requirements of robot spot welding, an open spot welding robot control system was designed, the structured hierarchical system and functional modules were provided. Programmable multi-axes controller(PMAC) acted as motion controller, in which robot kinematics arithmetic and servo arithmetic were completed. Servo amplifier adopted the speed control mode. The position loop arithmetic was completed in PMAC, and the speed loop arithmetic was implemented in servo amplifier. The off-line programming and the three-dimensional simulation were realized. The experimental results show that this structured hierarchical system greatly improves the system independence and flexibility of software and hardware, and the control mode adopted in this system enhances speed loop rigidity and anti-jamming capability. The off-line programming improves the weld quality and work efficiency, and this design meets the high-speed and accuracy requirements of the field applications.

Key words: spot welding robot; control system; programmable multi-axes controller(PMAC); VC

0 引 言

随着我国制造业特别是汽车工业的飞速发展,工业机器人市场需求越来越大。然而多数商用机器人的控制系统采取了封闭式结构:专用计算机作为上层主控机、专用机器人语言作为编程工具、专用微处理器等,并将控制算法固定在控制器中。这样的系统缺乏开放性,不便于系统的维护和改进,扩展性能较低,技术核心不开放。因此,从振兴国家装备业考虑,研究具有开放式体系结构的机器人控制系统具有重要意义^[1]。

机器人的控制系统起着与人脑相类似的指挥作用,一个控制系统的好坏直接决定了机器人动态性能的优劣。作为机器人的核心部分,机器人控制系统是影响机器人性能的关键部分之一。它从一定程度上影响着机器人的发展。对于不同结构的机器人,控制系统的设计方案也不一样。本研究讨论的是六自由度串联结构的开放式点焊机器人控制系统。

1 系统结构

本控制系统主要有以下几大模块组成:工控机、

PMAC 运动控制卡、松下伺服、外围以及机器人本体组成。其整体结构如图 1 所示:工控机给人机交互部分设计提供必要的工作平台;PMAC 运动控制卡的主要功能是处理机器人运动学算法、逻辑控制程序以及运动中需要的直线插补与圆弧插补等;伺服驱动器接收来自 PMAC 运动控制卡的指令后,经过放大处理,驱动相应电机转动,从而使得机器人本体各关节运动;输入/输出板是为满足现场外围设备设计的,主要作用是提供各种控制信号,如焊钳信号、夹具信号以及按钮站信号等^[2-3]。

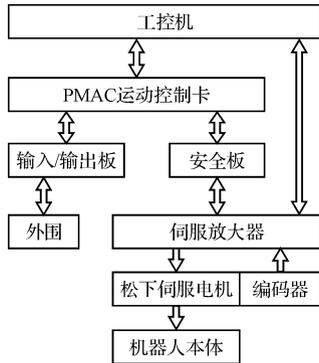


图 1 机器人控制系统

2 人机交互模块

本系统利用 PMAC 提供的 Windows 环境开发应用程序 PComm32 动态链接库以实现 PC 与 PMAC 的可靠通信,根据 VC++ 的面向对象与模块化思想开发 Windows XP 环境下的应用软件^[4]。该软件的功能主要是给用户编写应用程序的环境,在此环境中,用户不仅可以写运动程序,还可以配置系统参数、监视系统运行状态、备份程序等。

3 运动控制模块

运动控制部分的核心是美国 Delta Tau 公司开发的开放结构运动控制器 PMAC (Programmable Multi-Axes Controller) 可编程多轴控制器,它是目前世界上功能最强的运动控制器之一。本系统中,PMAC 程序主要分为 PLC 程序、运动学程序、基本变量设置 3 个部分。在 PMAC 中 PLC 程序主要根据 PMAC 监视器中设定的变量状态进行逻辑控制,并且对机器人运动学正解算法实时计算;运动学程序的实现是在 PMAC 专门的正解与逆解缓冲区中进行的,开发者针对机器人结构来编写相应的运动学算法,并将程序下载至相应的缓冲区,PMAC 会根据运动程序指令来决定是否调用逆运动学算法;基本变量设置主要包括机器人动

态参数的设定、控制模式设定、运动范围设定以及各寄存器地址分配等。

4 伺服模块

现场点焊机器人工作的基本要求是速度快、定位准。由于机器人在运动过程中不同的位姿下对伺服参数的要求不同,这就需要设计者根据运动信息编写自己的伺服算法。但是,运动控制卡中加载用户伺服算法对控制卡的处理器有很高的要求,考虑到当前 PMAC 的运行能力,采用了速度模式控制。伺服放大器负责速度环与力矩环的控制,而位置环在 PMAC 中实现。整个控制思想是:位置环设定 PID 参数,并进行数/模转换,模拟信号经过交流伺服放大器放大后驱动伺服电动机,电机轴端的码盘将信息反馈给 PMAC,PMAC 根据命令位置与实际位置的偏差采取相应的 PID 控制算法,将数字控制作用经数/模转换变成模拟控制电压,并输出给伺服放大器,最终调节电机运动,完成期望值的定位^[5-7]。位置环控制如图 2 所示。

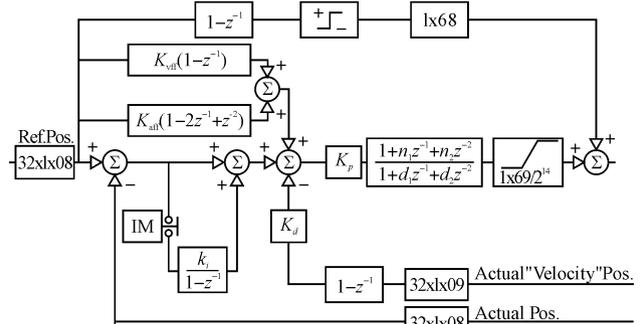


图 2 PMAC 中的 PID 控制原理

位置环调节的主要参数有:①比例增益 K_p , 相当于一个电子弹簧,提供位置误差输出比例控制。增大比例增益可提高伺服系统的刚性;提高闭环系统的固有频率及位置精度,但会增大实际系统对噪声、干扰的敏感度;设置值过高会引起系统出现超调现象。②积分增益 K_i , 主要用于消除由于系统摩擦等因素造成的累积跟随误差。③微分增益 K_d , 相当于一个电子阻尼器,微分越大系统的阻尼越大。增大微分可阻止系统超调,但会使系统响应速度降低;同时会使数字系统的量化噪声放大^[8]。本系统中放大器速度环控制方法如图 3 所示。

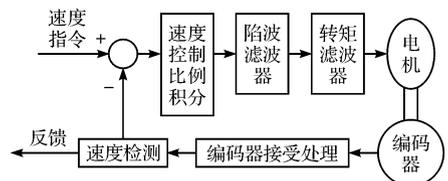


图 3 速度模式控制图

速度环采用了 PI 控制方法,驱动器接受来自 PMAC 的模拟量指令,经过比例和积分控制,可以根据需要使用陷波滤波器和转矩滤波器进一步处理,然后驱动电机转动,电机的速度经检测后反馈给上位机,形成闭环。

5 外围模块

机器人外围主要有机器人焊钳、夹具、按钮站和光栅等。以上外围信号均由 PMAC 运动控制卡的输入输出点控制,现场应用过程中,无论是焊钳动作还是机器人运动都与夹具信号、按钮站信号以及光栅信号密切相关^[9]。

6 离线编程与仿真模块

机器人焊接离线编程及仿真是提高机器人焊接系统柔性化的一项关键技术,是现代机器人焊接制造业的一个重要发展趋势。离线编程是在不使用实际机器人的情况下进行编程,进而产生机器人应用程序^[10]。本系统中的点焊机器人仿真焊接示意如图 4 所示。与传统的示教编程相比,离线编程具有如下优点:①减少机器人不工作的时间;②使编程者远离危险的工作环境;③便于修改机器人程序;④提高编程效率。然而,离线编程对机械加工精度、机器人本体定位和夹具定位的要求非常高,它们直接影响到离线编程中点的位置与实际位置的吻合程度^[11]。当前点对应的关节角度与直角坐标系下的位姿如表 1 所示。

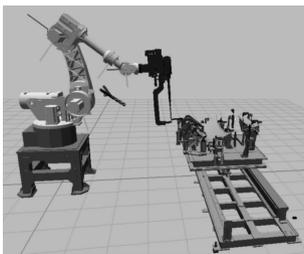


图 4 仿真

表 1 仿真数据

关节	位姿		
轴 1	-5.330 4°	X	2 623.65 mm
轴 2	7.892 9°	Y	-181.21 mm
轴 3	36.377 7°	Z	961.76 mm
轴 4	-0.104 9°	A	179.623°
轴 5	-87.281°	B	46.853°
轴 6	3.906 2°	C	175.936°

7 结束语

以上开放式控制系统的点焊机器人,经过在汽车焊装车间的生产线应用,通过对机器人性能测试与可靠性验证,充分说明以下 3 个方面:

(1) 分层式控制系统极大地提高了编程软件与硬件设计的灵活性和独立性。

(2) PMAC 实现位置环外环控制,伺服放大器实现速度环与力矩环内环控制的控制方法,提高了速度环刚性和抗干扰能力,完全可以满足点焊机器人现场应用要求。

(3) 离线编程与三维仿真,大大提高了点焊机器人的焊接质量与焊接效率。

参考文献 (References):

- [1] 刘金琨. 机器人控制系统的设计与 MATLAB 仿真[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [2] 卢志刚,吴杰,吴潮. 数字伺服控制系统与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [3] 伍文伟. 六自由度开放式机器人控制系统的研究[D]. 长沙:湖南大学电气与信息工程学院,2007.
- [4] 林俊杰. Visual C++ 2005 程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2006.
- [5] GUO Yue-jie, HUANG Li-pei, MURAMATSU M. Research on Inertia Identification and Auto-tuning of Speed Controller for AC Serco System[C]. Proceeding of the Power Conversion Conference. Osaka: [s. n.], 2002.
- [6] LEE K B, SONG J H, CHOY I, et al. An Inertia Identification using ROELO for Low Speed Control of Electric Machine[C]. APEC 2003. Miami Beach: [s. n.], 2003.
- [7] CHA I, HAN C. The Auto-tuning PID Controller using the Parameter Estimation[C]//Proceeding of the 1999 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Kyongju: [s. n.], 1999:46-52.
- [8] 上海施复自动化技术有限公司. Panasonic AC 伺服电机驱动器 MINAS A4 系列使用说明书[M]. 上海:上海施复自动化技术有限公司,2008.
- [9] 孙树栋. 工业机器人技术基础[M]. 西安:西北工业大学出版社,2006.
- [10] [美]CRAIG J J. 机器人学导论[M]. 负超,译. 3 版. 北京:机械工业出版社,2006.
- [11] MANOCHA D, CANNY J F. Efficient inverse kinematics for general 6R manipulators[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2004, 10(5): 648-657.